

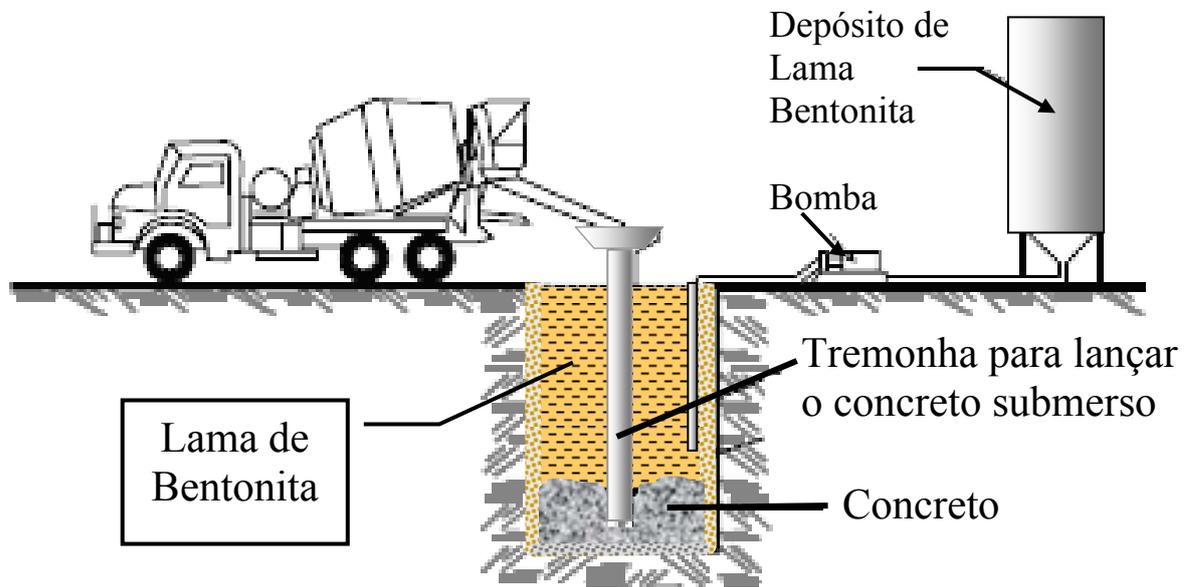
EXEMPLO Nº 166

ESTRUTURAS: Estacas escavadas de concreto armado, com diâmetro de 1,10m e 1,30m, executadas com concreto submerso.

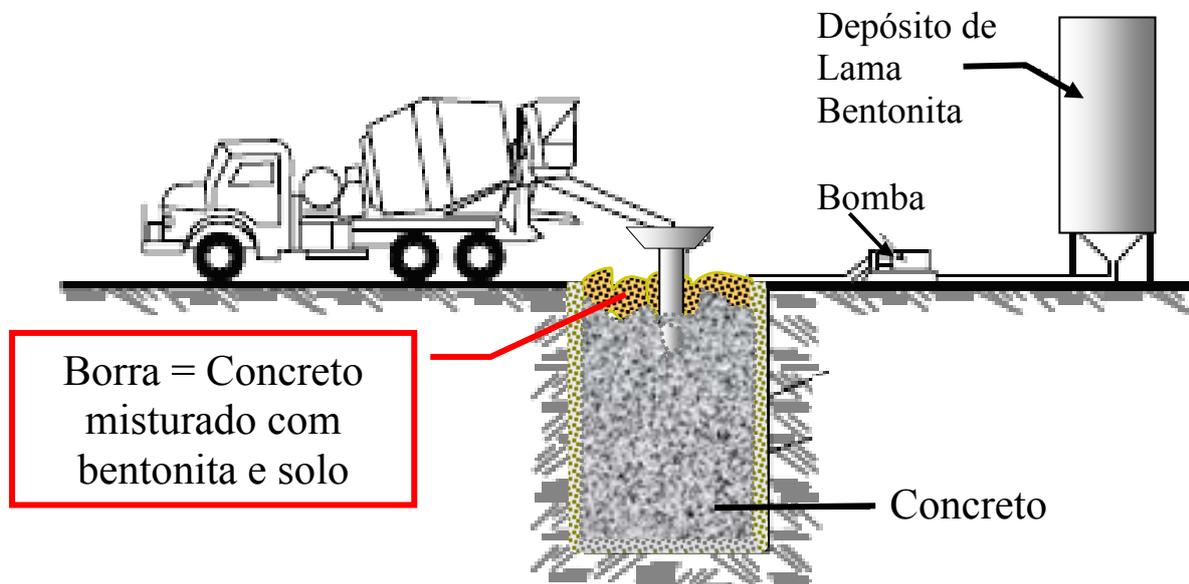
OBSERVAÇÃO: Concreto com baixa resistência no topo das estacas. Poroso e misturado com lama.

ESQUEMA: Adaptado da ABEF = Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia

Estacas ou Paredes diafragma.



Início da execução de uma concretagem submersa



Final da execução de uma concretagem submersa

Bentonita é uma argila composta pelo mineral montmorilonita, cuja microestrutura é composta de “folhas” superpostas. “Folhas” de tetraedros de sílica (54%) e “folhas” de octaedros de alumina (16% a 20%). A bentonita no Brasil também contém óxidos de ferro(10%), óxido de magnésio (2 %), óxido de potássio (1%) e óxido de sódio (0,5%). A bentonita extraída no Estado da Paraíba tem pouco sódio. Para corrigi-la e transformá-la em sódica, os fabricantes de bentonita ativam-na com carbonato de sódio (Na_2CO_3). A microestrutura em folhas da bentonita sódica tem uma grande capacidade de inchamento, quando misturada com água. Inchamento que atinge até 20% do volume inicial.

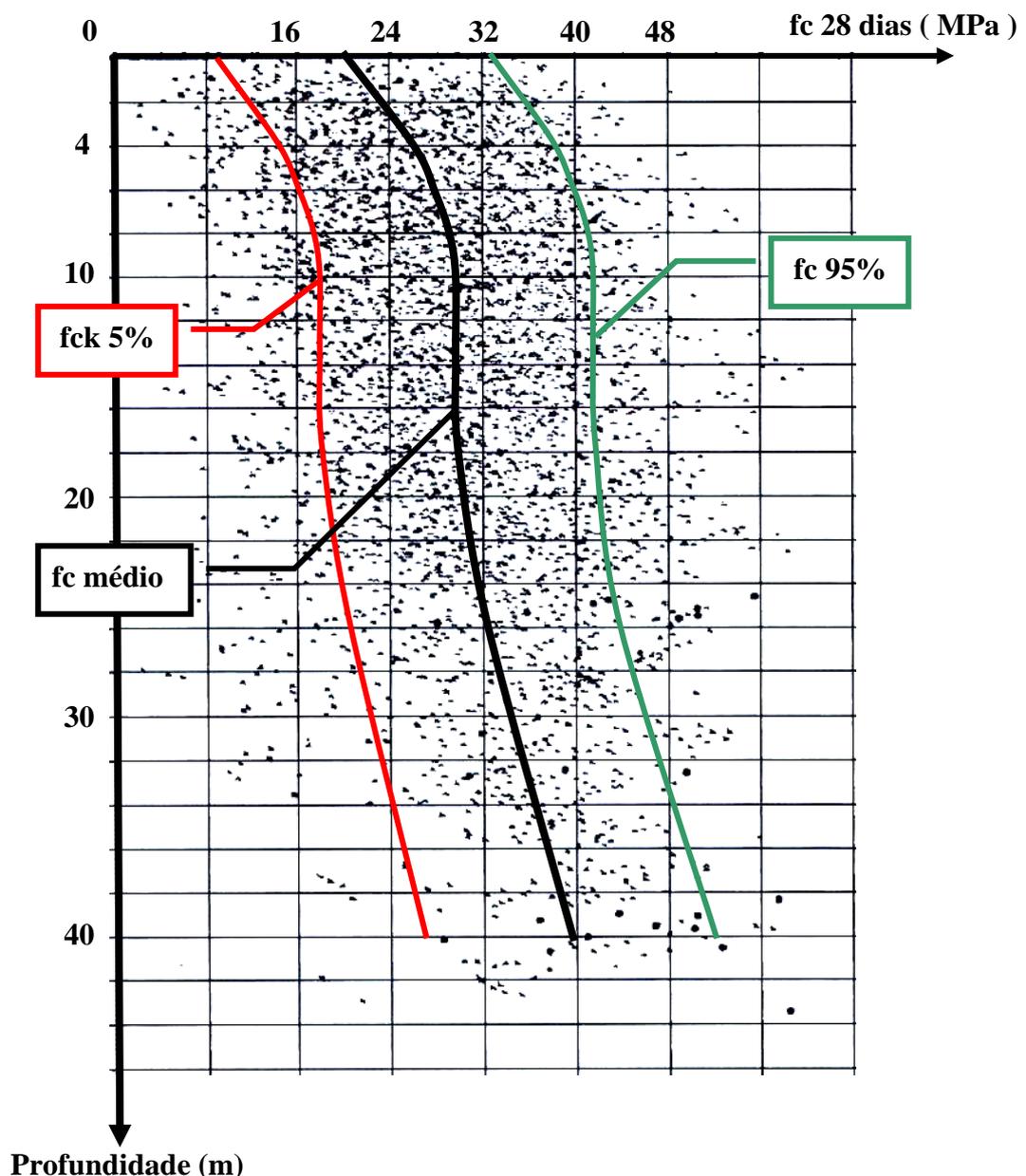
EXEMPLO Nº 166 (continuação)

CAUSAS: São duas as causas para a ocorrência de um concreto ruim no topo das estacas:

1. Mistura do concreto submerso com a lama bentonítica sobrejacente e com resíduos de solo, formando uma borra, sem resistência.
2. A subida de parte da água do concreto para o topo da estaca. É a exsudação (*bleeding*), formando um concreto com elevado fator água/cimento, com baixa resistência. Esse fenômeno da exsudação já é conhecido há muito tempo. Em seu livro "*The properties of fresh concrete*", de 1968, *T. C. Powers* mostra a existência dessas 3 zonas nos concretos, causadas pela exsudação:
 - A zona superior com muita água e densidade e resistência baixas.
 - A zona intermediária com densidade e resistência constantes.
 - A zona inferior com densidade e resistência crescentes com a profundidade.

Essas 3 zonas, previstas por *T. C. Powers*, foram constatadas nos ensaios de compressão feitos nos corpos de prova retirados do concreto, ao longo de todo o comprimento das estacas. Ver figura abaixo.

CONTROLE DA RESISTÊNCIA: Ao longo de 116 estacas da obra foram retirados 5477 testemunhos do concreto com diâmetro de 7,5cm e com comprimento de 15cm. Os testemunhos foram ensaiados à compressão. Constatou-se que a resistência do concreto, no topo das estacas, era muito menor do que ao longo do fuste das estacas. O mesmo ocorre em paredes diafragmas.



Referência: Luiz A. Jóia – Dissertação de Mestrado – *Modelo estatístico para cálculo do fator de segurança global de estaqueamentos* - COPPE / UFRJ - 1981

EXEMPLO Nº 166 (continuação)

SOLUÇÃO :

- Na obra citada, optou-se por arrasar as estacas 4 m abaixo do topo do concreto. No restante do comprimento das estacas, o f_{ck} adotado foi 16MPa.
- Excluído o concreto do topo das estacas, e considerando os testemunhos extraídos, a resistência de cálculo do concreto vale $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \frac{16MPa}{1,4} = 11,4 MPa$ (NBR 6118).
- A norma de fundações NBR-6122 / 1996 não permite que se adote $f_{ck} > 20$ MPa para o cálculo estrutural da estacas ou paredes diafragmas com concreto submerso, mesmo que o concreto seja executado com um f_{ck} maior.
- A norma NBR-6122 / 1996 recomenda também, que se reduza a resistência f_{ck} do concreto com um fator de 1.9, para levar em conta o tipo de concretagem submersa, $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,9} = \frac{20MPa}{1,9} = 10,5MPa$, valor próximo do medido.
- O desvio padrão medido, ao longo das estacas foi de 7MPa.
- A resistência de dosagem de um concreto submerso deverá ser portanto:
 $f_{cj} > f_{ck} + 1,65 \times s_d = 20,0 + 1,65 \times 7,0 = 32 MPa$
- Usar a resistência de dosagem de um concreto submerso $f_{cj} > 40 MPa$
- **Os corpos de prova devem ser moldados com o concreto colhido no topo da estaca (ou parede), assim que a concretagem da estaca (ou parede) terminar.**

OUTRAS SOLUÇÕES :

Alternativa 1: Em qualquer estaca, ou parede diafragma, executada com concreto submerso, deixar o concreto extravasar até se observar um concreto normal, sem mistura com a bentonita, ou com o solo.

Alternativa 2: Cortar o concreto fraco do topo da estaca, ou da parede diafragma, até a uma profundidade onde se observe o concreto de boa qualidade. Essa avaliação visual pode levar a erros, pois o concreto, com muita água, pode ter uma aparência boa, embora a resistência seja baixa.

Alternativa 3: Extrair, com broca de diamante, testemunhos do concreto dos metros superiores da estaca ou da parede diafragma. Determinar a resistência real, f_{ck} , do concreto, e fazer uma verificação da segurança estrutural, com a resistência encontrada.

CONTROLE DA RESISTÊNCIA: A correção da resistência, para considerar a idade do concreto das estacas ou das paredes diafragma, aos 28 dias, deve ser feita usando a expressão da norma NBR 6118 :

$$f_c(t) = f_{c28} \times \exp \left(S \times \left[1 - \left(\frac{28(\text{dias})}{t} \right)^{0,5} \right] \right)$$

$f_c(t)$ = resistência do concreto na idade de t dias

f_{c28} = resistência do concreto na idade de 28 dias

t = idade em t dias

S = fator que depende do tipo de cimento

$S = 0,38$ para o concreto de cimento CIII (CP de alto-forno) e CP IV (CP pozolânico)

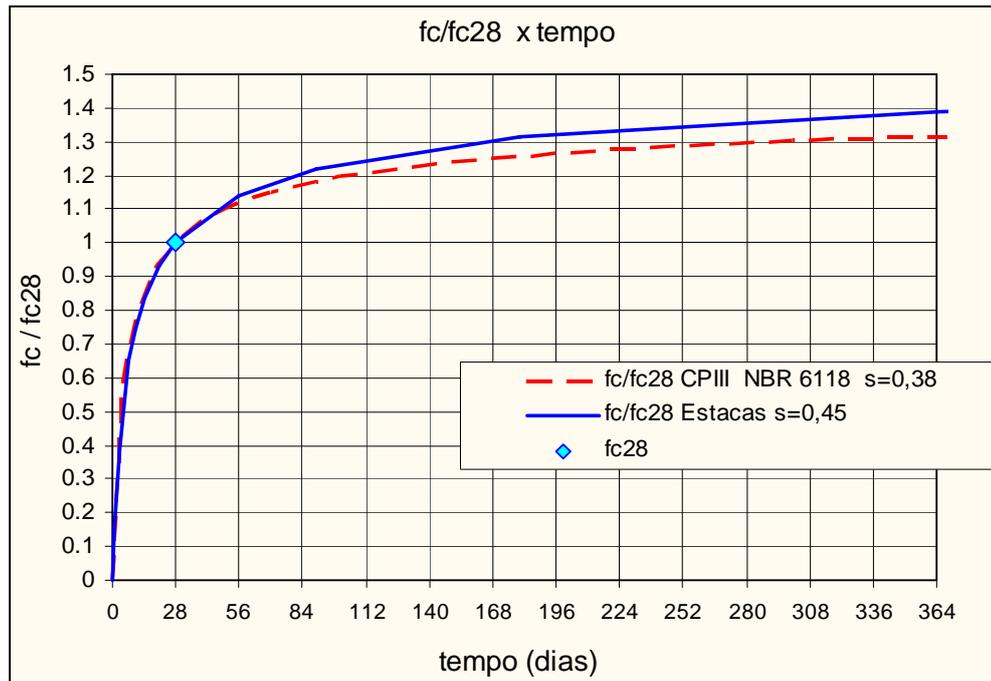
$S = 0,25$ para o concreto de cimento CPI (CP comum) e CII (CP composto: CII-E,CII-Z,CII-F)

$S = 0,20$ para o concreto de cimento CPV-ARI (CP alta resistência inicial).

- Para as estacas da obra citada, a curva da variação da resistência do concreto com o tempo foi aferida, e correspondeu a $S = 0.45$, o que caracteriza um cimento com aumento lento da resistência, concreto com adições que retardem o crescimento da resistência, como as escórias de alto forno.
Ver o gráfico na próxima página.

EXEMPLO Nº 166 (continuação)

CURVA DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM O TEMPO.



TRAÇOS PARA CONCRETOS SUBMERSOS:

- Para estacas ou paredes executadas com concreto submerso, o concreto deve ser plástico, e deve ser dosado com $f_{ck} > 28$ MPa, com $f_{cm} \approx 40$ MPa.
- O teor de cimento deve ser ≈ 400 kg/m³, e o fator água / cimento $< 0,60$.
- A norma americana *ACI 336.3R -93* indica o diâmetro máximo dos agregados $D_{m\acute{a}x.} = 19$ mm. A pedra deve ter um formato arredondado, sem forma lamelar. Preferir seixo rolado, e não pedra britada. Não usar pó de pedra.
- O diâmetro máximo da pedra deve, também, ser menor que 1/10 do diâmetro do tubo Tremonha.
- Usa-se, para o concreto submerso, as seguintes faixas de granulometria para os agregados totais (pedra + areia).

Peneira	% passante
0	0
0.15	3 a 4
0.3	5 a 8
0.6	14 a 20
1.2	22 a 32
2.4	32 a 42
4.8	44 a 56
9.5	66 a 76
19	100

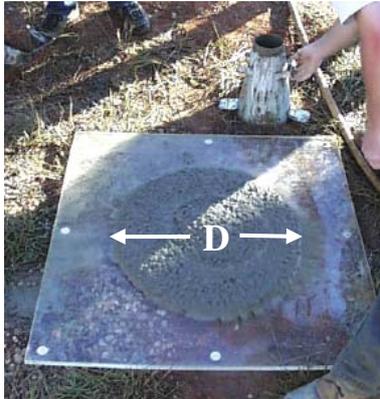
- O catálogo da firma Estacas Franki indica o traço do concreto submerso usado em suas obras. Para 1m³ de concreto: *Abatimento* (Slump) = 18 a 22 cm; *Cimento* = 400 kg ; *Areia* = 720 kg ; *Brita 1* (19mm - 9,5mm) = 980 kg; *Água* = 240 kg ; *Plastificante e retardador de pega* =1,2 litros.
- Pode ser usado, também, um aditivo anti-segregação, como o Sikament 100SC, ou como o MC-Bauchemie Murapor Estabilizador, ou similares.
- O tubo tremonha, para lançamento do concreto, deve ficar sempre 1,5m imerso no concreto já lançado.
- Terminar a concretagem em cerca de 3horas, para que o tubo tremonha não fique preso no concreto já endurecido.

EXEMPLO Nº 166 (continuação)

Prof. Dan Brown - <http://danbrownandassociates.com/publications/>

Prof. Anton Schindler - <http://www.eng.auburn.edu/users/antons/index.htm>

High Performance Concrete and Drilled Shaft - Construction Dept. of Civil Engineering, Auburn University - 2nd Annual Mike O'Neill Lecture, March 2, 2007 Houston, Texas



- Concretos submersos, para estacas com diâmetro até 2,5m, devem ter um abatimento de 18cm a 23cm.
- O espaço livre entre as barras das armaduras da estaca, tanto na vertical como na horizontal deve ser maior que 15cm.
- ← É muito usado o ensaio de abatimento, medindo-se, não o abatimento, mas o diâmetro de alargamento do concreto, como mostrado na figura.
- O diâmetro **D** médio do alargamento deve ser de 45cm a 60cm.



- ← Também é usado o ensaio de percolação do concreto através da malha da armadura. É o ensaio feito em uma caixa com a forma de um **L**.
- O concreto é colocado na caixa vertical, enchendo até o topo.
- Após a abertura da janela *guilhotina*, entre as duas caixas, o concreto deve escoar horizontalmente e preencher toda a caixa horizontal.
- As dimensões da janela entre as duas caixas são iguais às distâncias livres, na vertical e na horizontal, entre as barras da armadura da estaca.



- ← Estaca com $\phi = 1,5m$, desenterrada após a execução, mostrando falhas no concreto. “Brocas” deixadas pelo concreto pouco plástico.
- O concreto submerso, não sendo bastante fluido, tem dificuldades em escoar através da malha da armadura, composta de muitos ferros longitudinais e muitos estribos.
- No topo das estacas, em geral, os momentos fletores são maiores e os projetistas usam duas camadas de ferros. Isso dificulta a passagem do concreto.
- Deve-se evitar o uso de 2 ou mais camadas de ferros. É preferível usar ferros mais grossos com emendas com luvas, todos em uma só camada.

- Usar agregados redondos, preferencialmente seixos rolados, com D.máx.=19mm ou 12,5mm
- Usar relação em massa, areia/(seixo + areia) = 0,44 a 0,50.
- Usar aditivo redutor de água e aditivo retardador da pega.
- Usar alto teor de cinzas, ou de escórias, para reduzir o teor de cimento Portland, reduzindo o calor de hidratação nas primeiras horas.
- Controlar a resistência aos 56 dias, ou aos 90 dias e não aos 28 dias.
- Usar aditivos para aumentar a viscosidade e evitar a exsudação (*bleeding*) no concreto.
- Controlar a temperatura de lançamento do concreto fresco. Usar menos que 21 °C.
- Ao testar o traço do concreto, considerar o efeito da elevação da temperatura na trabalhabilidade e também no tempo de início da pega.
- Avaliar também, nos ensaios de dosagem do concreto, a elevação da temperatura com o tempo.